

# 综合地物化找矿方法在内蒙古西尼乌苏铜金矿区的应用

王凯垒<sup>1,2</sup>, 刘冬冬<sup>1,2</sup>, 张家兴<sup>1,2</sup>, 李会恺<sup>1,2</sup>, 李敬华<sup>1,2</sup>, 刘春平<sup>1,2</sup>

(1. 华北地质勘查局五一九大队, 河北 保定 071051; 2. 河北九华勘查测绘有限责任公司, 河北 保定 071051)

**摘要** 西尼乌苏铜金矿区位于内蒙古阿拉善盟, 该矿区激电异常呈低阻高极化特征; 测深拟断面显示, 深部异常有增大趋势; 土壤测量在矿区内圈定多处综合异常, Cu、Au等元素异常规模大, 强度高。该矿区物、化探异常套合较好, 对应地表岩石硅化、孔雀石化等蚀变较强, 据此建立了西尼乌苏铜金矿区的找矿标志, 经槽探工程验证, 矿区内圈定多条铜矿体及金矿体, 找矿效果良好。该区的综合地物化找矿方法为该地区找矿勘查提供了范例。

**关键词** 矿产地质调查; 地球物理; 地球化学; 找矿模型; 西尼乌苏铜金矿区

**中图分类号:** P618, P622 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7801(2021)11-2258-09

## 0 引言

西尼乌苏铜金矿区属磁海-公婆泉Fe-Cu-Au-Pb-Zn-Mn-W-Sn-Rb-V-U-磷成矿带, 珠斯楞-乌拉尚德Cu-Au-Ni-Pb-Zn-煤成矿亚带(许立权等, 2016) 该地区构造-岩浆活动复杂, 成矿地质条件有利, 近年来, 区域上新发现珠斯楞海尔罕铜金矿床、呼伦西白金矿、阿达日嘎金矿等多处多金属矿床, 引起众多学者关注(吕蓉等, 2004; 李俊建, 2006; 李俊建等, 2004, 2016; 杨亮等, 2006; 杨富林等, 2011, 2015a, 2015b; 程佳孝等, 2013; 李会恺等, 2016, 2017; 王嘉伟等, 2016; 谢春林等, 2018; 杨建军等, 2018; 胡二红等, 2020)。

西尼乌苏铜金矿区为本次矿调工作新发现矿产地, 地理坐标: 东经103°18'30"~103°22'00", 北纬41°24'00"~41°26'15"。2014年1:50000土壤地球化学测量在矿区圈定AP2乙<sub>2</sub>号综合异常, 异常面积61.79 km<sup>2</sup>, 异常主要成矿元素组合为Au、Cu、Mo、Bi、Sn、As、Cd、Zn等(李会恺等, 2016), 在该异常重点区域开展了1:10000土壤剖面测量, 结果显示

异常重现性明显。2015—2016年通过1:10000土壤测量、1:10000激电中梯测量等工作, 并开展了槽探工程验证, 圈定铜矿体6条, 金矿体3条, 其中铜矿体KT6长度约2200余米, 宽1~9 m, 平均品位0.80%; 金矿体长约400~550 m, 宽约1~1.5 m, Au品位1.15~2.23 g/t; 取得了较好的找矿效果。本文对该矿区的地、物、化特征进行总结, 建立找矿标志, 为区域铜金多金属矿床勘查提供思路。

## 1 地质特征

研究区位于巴丹吉林沙漠北缘, 内蒙古阿拉善盟阿拉善右旗西尼乌苏一带, 大地构造位置为天山地槽褶皱系, 北山晚华力西地槽褶皱带的三级构造单元雅干复背斜。区内主要出露地层有中二叠统方山口组、下白垩统苏宏图组、中白垩统乌兰苏海组(图1)。方山口组以英安岩、安山岩和流纹质火山碎屑岩、凝灰岩为主, 夹粗粒陆源碎屑岩和灰岩透镜体, 地层走向NW向, 倾角15°~30°, 岩石片理发育。苏宏图组以灰绿色细砂岩、粉砂岩为主。乌兰苏海组以砖红色砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩为主。

[收稿时间] 2021-01-21

[基金项目] 本文受中国地质调查局地质矿产调查项目(编号: 12120114011101)资助。

[第一作者简介] 王凯垒, 男, 1989年生, 学士, 工程师, 从事区域地质、矿产地质勘查; E-mail: 947981910@qq.com。

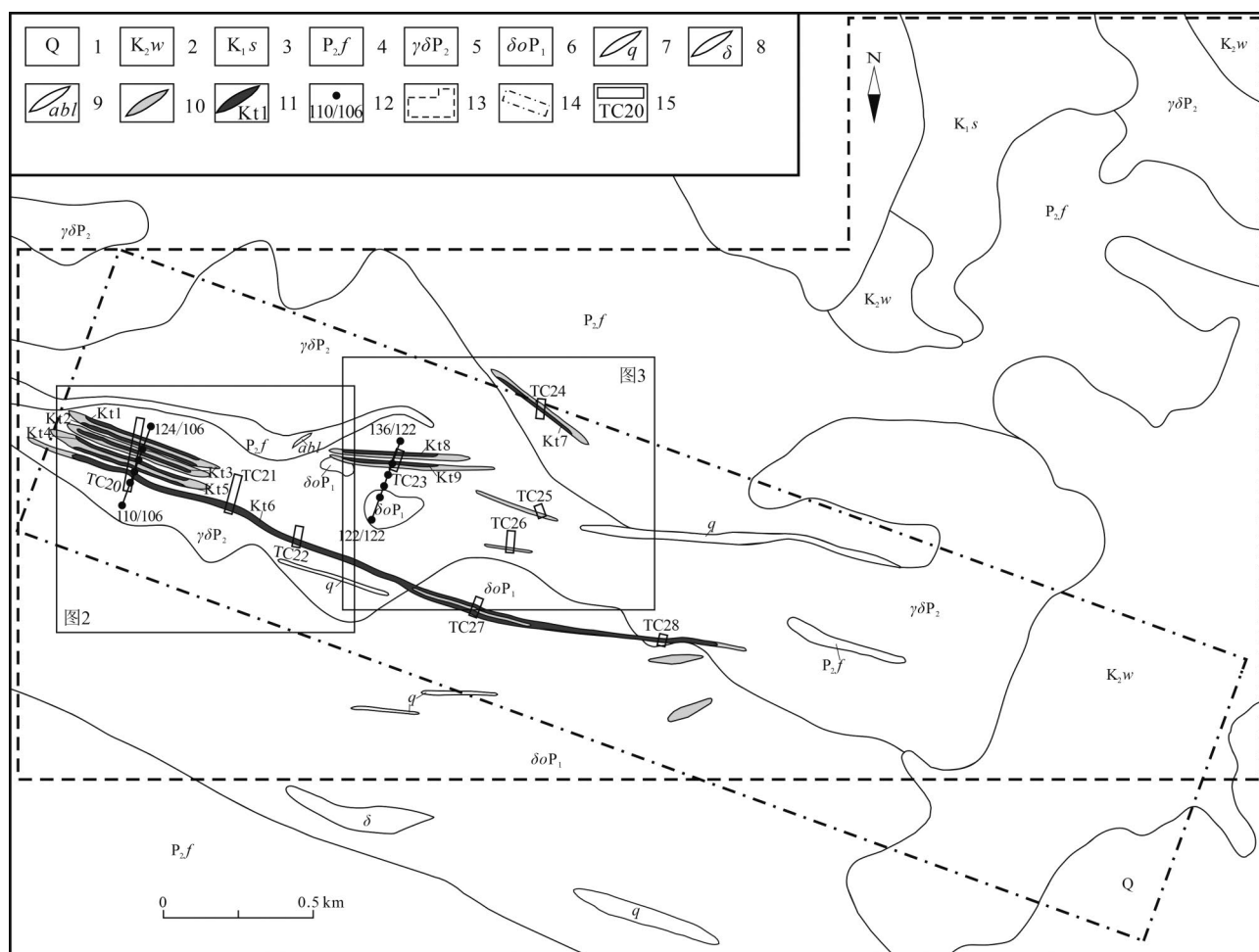


图1 西尼乌苏铜金矿区地质简图

1—第四系;2—乌兰苏海组;3—苏宏图组;4—方山口组;5—花岗闪长岩;6—石英闪长岩;7—石英脉;8—闪长岩脉;9—斜长角闪岩脉;10—破碎蚀变带;11—矿体及编号;12—激电测深位置及编号;13—1:10000土壤测量范围;14—1:10000激电中梯测量范围;15—探槽位置及编号

侵入岩主要为二叠纪中细粒石英闪长岩、花岗闪长岩,蚀变作用明显,与成矿关系密切。区内构造发育,断裂构造可分为北西向、北东向两组,北西向断裂带内岩石普遍片理化、绢云母化,片理走向与构造方向一致,硅质脉发育。韧性变形主要发育在中部花岗闪长岩与石英闪长岩接触带部位及南部方山口组中,后期有同向脆性断裂叠加。

## 2 地球化学特征

本次工作进行了1:10000土壤测量,面积8.5 km<sup>2</sup>,网度100 m×40 m。分析13种元素:Cu、Pb、Zn、Ag、Au、As、Sb、Hg、W、Sn、Bi、Mo、Cd。圈定综合异常九处,目前AP2-5、AP2-6已证实为矿致异常。

AP2-5综合异常主要由Cu、Cd、Au、Pb、As、

Mo、Ag、Bi、Zn等元素组成,呈长条状NW向展布,面积0.38 km<sup>2</sup>。其中Cu为主要的异常元素,规模大、强度高,达三级浓度分带,有3个明显的浓集中心。Cu最大值>2000×10<sup>-6</sup>,平均值231.52×10<sup>-6</sup>,其它元素呈点状分布。异常主要元素为Cu元素,异常规模、强度均较大,区大面积出露中二叠世花岗闪长岩,南部出露中二叠世石英闪长岩,岩石高岭土化、硅化、孔雀石化等。在花岗闪长岩体中发现破碎蚀变带4条,并从中圈定6条铜矿体,且在铜矿体西南部,仍有强度较高的Cu异常反映,表明铜矿体在北西方向仍有一定的延伸(图2)。

AP2-6综合异常主要由Au、As、Sb、Mo、Pb、Hg、Sn、Ag等元素组成,呈长条状NW向展布,面积0.33 km<sup>2</sup>。其中Au、As、Sb元素规模较大,均达三级浓度分带,Pb、Hg、Ag、Mo、Sn均达二级浓度分



研究区内同一岩性的极化率和电阻率变化都较大,具有明显的各向异性特征。铜矿石和花岗闪长岩的极化率最高,算术平均值分别为3.12%和2.81%。其次为石英闪长岩和斜长角闪岩,算术平均值为2.3%左右。极化率最低的是大理岩和石英脉,其算术平均值为1.4%左右。不同岩性之间的电阻率相差较大,其中石英脉电阻率最高算术平均值达到17114  $\Omega \cdot m$ ;其次为斜长角闪岩和大理岩,算术平均值约在8000~10000  $\Omega \cdot m$ 之间;石英闪长岩电阻率算术平均值为3077  $\Omega \cdot m$ ;花岗闪长岩与铜矿石电阻率最低,算术平均值均在1200  $\Omega \cdot m$ 左右。

由以上数据可知,研究区铜矿石极化率较围岩高,电阻率较低,为低电阻高极化体,与围岩有一定的电性差异。

3.2 激电异常特征

本次工作在重点地段开展了1:10000激电中梯测量工作(图1),测量面积4 km<sup>2</sup>,供电方式采用周期为16 s、占空比1:1的双向短脉冲制式,电流精度0.001 A。接收机工作参数设置为断电延时100 ms,取样宽度40 ms,测量叠加次数为1次。面积测量采用激电中梯短导线方式施工。一线供电5线接收,最大旁测距离200 m,小于1/5AB。供电极距为AB=1600 m, MN=40 m,点距40 m。观测范围位于AB中部2/3范围内。

由视极化率图(图4)可知,全区视极化率变化

表1 岩(矿)标本电性参数统计表

岩(矿)石名称	块数	极化率 $\eta_s$ /%			电阻率 $\rho/(\Omega \cdot m)$		
		算术平均值	几何平均值	变化范围	算术平均值	几何平均值	变化范围
斜长角闪岩	6	2.18	2.37	1.99~3.35	9768	9540	275~8235
大理岩	21	1.48	1.41	0.88~2.48	7976	3790	721~58363
花岗闪长岩	34	2.82	2.61	0.78~4.96	1269	665	68~7654
石英闪长岩	31	2.39	2.30	1.25~3.66	3077	1571	211~15568
石英脉	18	1.41	1.30	0.81~3.08	17114	12115	1108~37865
铜矿石	26	3.12	3.00	1.90~5.22	1140	807	181~4421

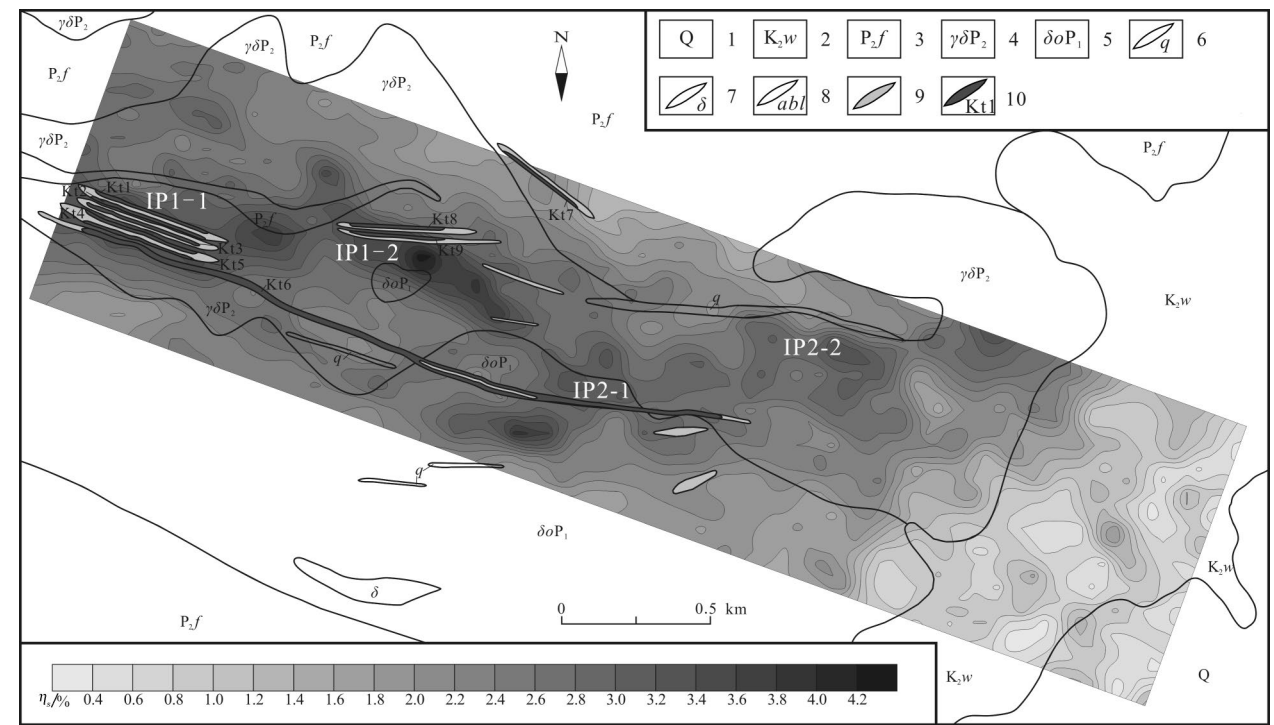


图4 西尼乌苏铜金矿区视极化率图

1—第四系; 2—乌兰苏海组; 3—方山口组; 4—花岗闪长岩; 5—石英闪长岩; 6—石英脉; 7—闪长岩脉; 8—斜长角闪岩脉; 9—破碎蚀变带; 10—矿体及编号



范围0.2%~4.50%，等值线总体呈北西条带状展布，局部异常近东西向展布，异常连续性较差，整体上呈西高东低的阶梯式变小特征。由视电阻率图(图5)可知，视电阻率变化范围为20~340  $\Omega \cdot m$ ，等值线走向总体呈北西向展布，局部呈北东走向。小于100  $\Omega \cdot m$ 的低阻异常分布比较广泛，占测区3/4以上的面积。

综观区内激电异常特征，以视极化率高于2.6%等值线圈划分为局部激电异常，区内共划分2个主要激电异常，异常分别编号为IP1、IP2。

IP1异常位于测区西北部，又可分为IP1-1和IP1-2两个子异常(图4)。

IP1-1异常：走向近东西，呈条带状分布。异常向北西呈开口状延伸出区外，没有封闭。 $\eta_s$ 大于3.2%等值线圈在图上表现为多个中心，最大值为4.1%。异常南侧较北侧陡，异常梯度变化较大，异常中心变化平缓。视电阻率异常在100  $\Omega \cdot m$ 左右变化。

为了进一步解剖该异常，在106线布设6个测深点(图1)，采用GeoElectro电法数据处理系统对数据进行反演。

由测深拟断面(图6)可以看出，随着深度的往下延伸，大于1.2%视极化率等值线逐渐增大，异常中心视极化率极大值为3.58%，呈低阻高极化特征，异常形态为近似直立型，异常往深部延伸未封闭。反演异常形态基本与拟断面图相似。

该异常地表出露花岗闪长岩，孔雀石化蚀变较强，且该异常与1:10000化探Cu元素异常对应较好，是寻找铜多金属矿的有利地段。

IP1-2异常：走向北西向呈带状分布，异常东西两侧等值线变化较密，异常梯度变化大，极大值为4.5%。视电阻率异常为100  $\Omega \cdot m$ 左右。

为了进一步解剖该异常，在122线布设6个测深点(图1)。由测深拟断面(图7)可以看出，随着深度的往下延伸，大于0.8%视极化率等值线逐渐增大，异常中心视极化率极大值为3.65%，视电阻值一般在100  $\Omega \cdot m$ 左右，呈低阻高极化特征，异常形态为半椭圆型，异常中心的埋藏深度在300 m左右，异常往深部延伸未封闭。反演异常形态基本与拟断面图相似。

该异常地表出露花岗闪长岩，石英脉发育较好，热液活动强烈，且该异常与1:1万化探Au元素

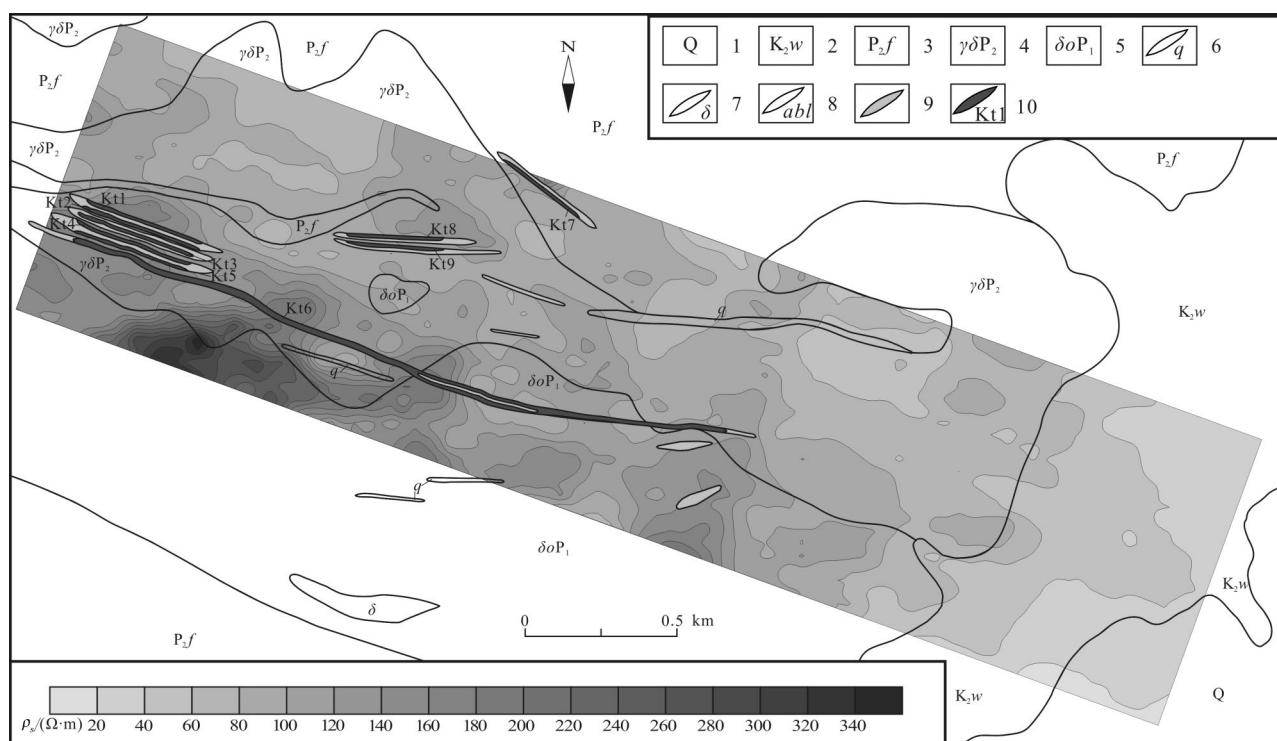


图5 西尼乌苏铜矿区视电阻率图

1—第四系；2—乌兰苏海组；3—方山口组；4—花岗闪长岩；5—石英闪长岩；6—石英脉；7—闪长岩脉；8—斜长角闪岩脉；9—破碎蚀变带；10—矿体及编号

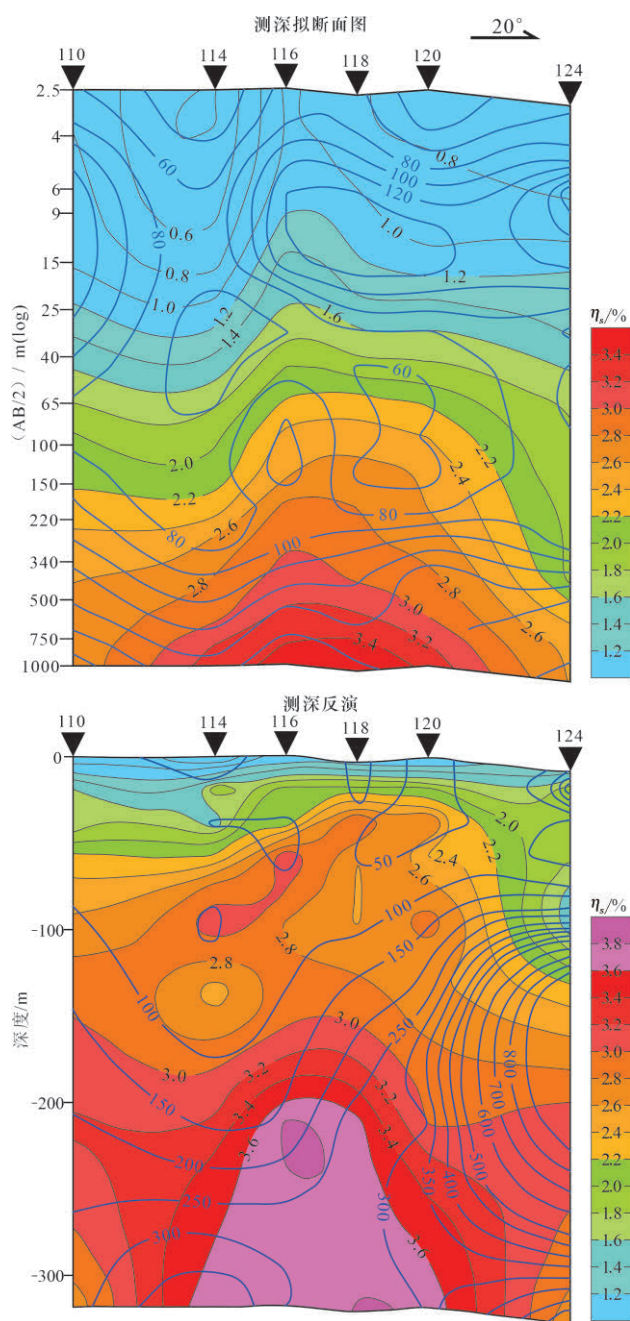


图6 西尼乌苏铜金矿区106线测深拟断面及反演图

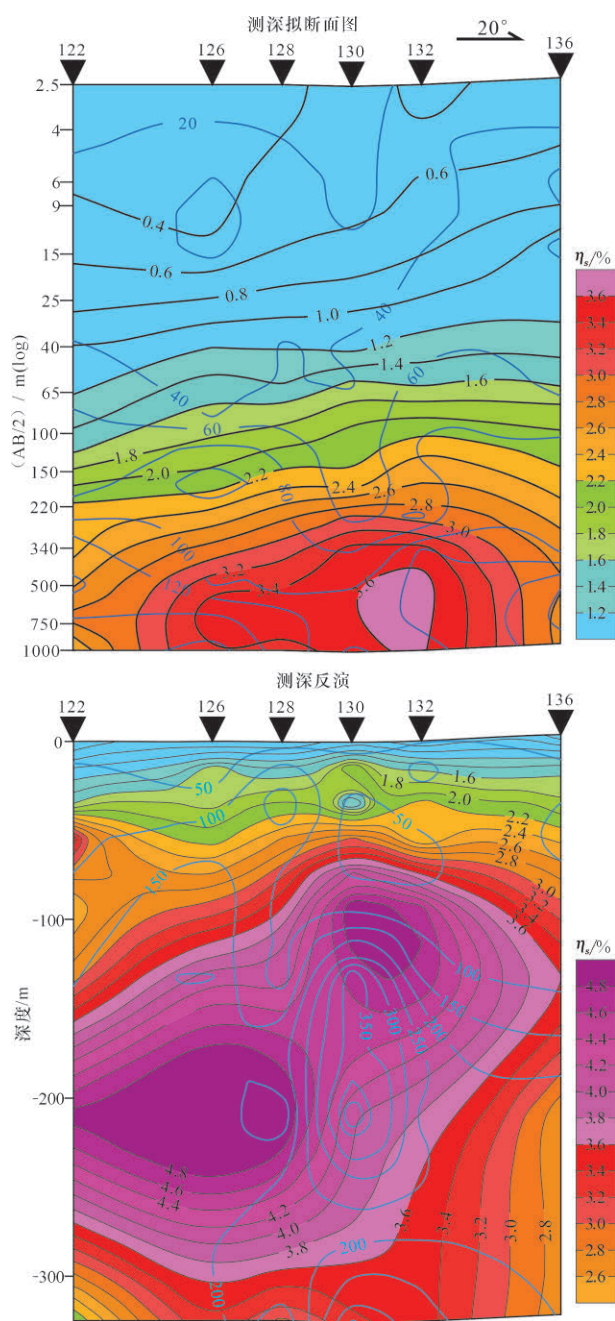


图7 西尼乌苏铜金矿区122线测深拟断面及反演图

异常对应较好。为寻找金多金属矿的有利部位。

IP2异常:走向近东西呈条带状分布,异常断续相连,有多个异常中心,分为IP2-1 和IP2-2两个子异常,异常极值为4.3%。异常往北未封闭。视电阻率数值一般为100  $\Omega \cdot m$ 左右。

异常地表出露花岗闪长岩和石英闪长岩,另外还有一些石英脉岩出露。推测该异常与热液活动有关,有较好的找矿前景。

## 4 矿体特征

本次工作通过槽探工程验证,共圈定铜矿体6条,金矿体3条(图1)。铜矿体总体走向受NW向断裂构造控制,围岩均为碎裂状花岗闪长岩。矿体呈脉状,产于花岗闪长岩、石英闪长岩内部,编号Kt1~Kt6,矿体在地表出露规模大小悬殊,其中Kt6长度约2200余米,宽约1~9 m,由TC20、TC21、

TC22、TC27、TC28控制,Cu品位0.20%~3.49%,平均品位0.80%;其余Kt1~Kt5矿体长度多为400~540 m左右,宽约1.4~4.5 m,由TC20单工程控制,Cu品位0.32%~1.12%;主要蚀变为硅化、绿帘石化、绢云母化、孔雀石化。

金矿体总体走向受NW向断裂构造控制,围岩为碎裂状花岗闪长岩及方山口组火山岩,编号Kt7~Kt9。长约400~550 m,产状 $195\sim 220^{\circ} \angle 20\sim 60^{\circ}$ ,宽约1~1.5 m,由TC23、TC24控制,Au品位1.15~2.23 g/t。主要蚀变为硅化、黄铁矿化、绿帘石化、绿泥石化、绢云母化、褐铁矿化等。

## 5 找矿前景

(1)通过与区域典型矿床(珠斯楞铜金矿床与呼伦西白金矿)对比(表2),区域多金属矿床均受北西向构造控制,部分矿体受北东向次级断裂控

制,且矿体均发育在侵入岩内外接触带。前人通过对珠斯楞铜金矿床与呼伦西白金矿的研究认为,二叠纪侵入岩为矿体的形成提供了成矿物质和成矿热液,北西向断裂构造提供了热液的运移通道(程佳孝等,2013)。西尼乌苏铜金矿区岩浆活动强烈,断裂构造及脉岩发育,矿体、蚀变破碎带及物化探异常等,多呈NW—NWW向展布,表明该矿床受北西向构造控制,并且岩浆活动与成矿作用关系密切;与上述两个矿床成矿条件极其相似,形成于同一成矿事件,具备形成岩浆热液型铜金矿床的潜力。

(2)研究区内1:50000土壤地球化学异常面积大,强度高;通过1:10000土壤测量圈定的9处综合异常,已有3个综合异常通过检查发现铜金矿体9条,证实为矿致异常。铜矿体延伸方向仍有强度较高的Cu异常反映,本次未进行工程控制,且部分综

表2 西尼乌苏矿区与区域典型矿区特征对比表

矿区	西尼乌苏		珠斯楞	呼伦西白
	铜矿体	金矿体		
矿床类型	中—低温热液型		中—低温热液型	中—低温热液型
矿床规模	新发现矿产地		中型	小型
矿体产状	$55\sim 70^{\circ} \angle 55\sim 75^{\circ}$	$195\sim 220^{\circ} \angle 20\sim 60^{\circ}$	走向北西,倾向北东,倾角 $57\sim 75^{\circ}$	$0^{\circ} \angle 62\sim 83^{\circ}, 130\sim 140^{\circ} \angle 42\sim 80^{\circ}$
矿体形态	脉状、透镜状	脉状、透镜状	脉状	脉状、透镜状
产出位置	花岗闪长岩、石英闪长岩内	花岗闪长岩内外接触带	花岗斑岩、花岗闪长岩内及其与围岩接触带	黑云母钾长花岗岩内外接触带
矿化蚀变	孔雀石化、硅化、高岭土化	硅化、褐铁矿化、绢云母化	主要有碳酸盐化、绿泥石化、绿帘石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化	硅化、绢云母化、钾化、褐铁矿化为主,次为绿帘石化、高岭土化、碳酸盐化、孔雀石化
化探异常特征	元素组合为Cu、Cd、Au、Pb、As、Mo、Ag、Bi、Zn等,Cu最大值 $>2000 \times 10^{-6}$ ,平均值 $231.52 \times 10^{-6}$	元素组合为Au、As、Sb、Mo、Pb、Hg、Sn、Ag等,Au最大值 $>500 \times 10^{-9}$ ,平均值 $67.78 \times 10^{-9}$	元素组合以Cu、Au、Bi元素为主,外围套合有As、Sb、Pb、Ag,异常元素重合性好,Cu最高值为 $219.20 \times 10^{-6}$	元素组合为Au、Pb、Bi、Sn、Ni、Cu等,Au异常严格受岩体控制,沿北西、北东二组方向交叉呈带状分布,Au最大值 $862.8 \times 10^{-9}$ ,Au/Bi/Pb异常分布相对一致,Hg、Sb异常位于岩体与地层外接触带,具有明显分带特征
物探	多个异常中心,最大值为4.1%。视电阻率异常在 $100 \Omega \cdot m$ 左右	激电异常梯度变化大,极大值为4.5%。视电阻率异常为 $100 \Omega \cdot m$ 左右	激电异常具高视极化率(异常值3%~14.7%)低视电阻率(异常值 $50\sim 300 \Omega \cdot m$ )	视极化率一般4.0%~5.0%,局部6.0%~7.0%,高者达8.0%~10.0%,对应的视电阻率多数为 $300\sim 400 \Omega \cdot m$ ,两者基本吻合
资料来源	本文	本文	吕蓉等,2004;杨富林等,2015a,2015b;程佳孝等,2013	李俊健,2006;李俊健等,2004;杨富林等,2011



合异常地表已发现蚀变带,未进行工程验证,表明该区仍有较大的找矿前景。

(3)研究区的激电异常与1:10000化探异常对应较好,矿体对应位置具有低阻高极化的激电异常特征,激电测深显示,矿体在深部具有规模增大的趋势,显示出该矿区良好的找矿潜力。

(4)地物化综合找矿方法的应用在该矿区具有良好的找矿效果。通过与区域上典型矿床(珠斯楞铜金矿床与呼伦西白金矿)的对比,该矿区综合找矿方法具有良好的再现性,表明西尼乌苏铜金矿区的找矿方法在区域上具有较好的指导作用。

## 6 结论

(1)西尼乌苏铜金矿区矿体受北西向断裂控制,且与二叠纪侵入岩关系密切,侵入岩内及其与围岩接触带附近发育孔雀石化、硅化、高岭土化等是直接的找矿标志。

(2)土壤地球化学测量结合激电中梯测量对于该地区铜金等多金属矿勘查是行之有效的找矿方法,低阻高极化特征对应化探异常为该地区物化探找矿标志。

(3)通过与区域典型矿床进行对比,该矿区综合找矿方法具有良好的再现性,对区域上多金属找矿勘查具有指导作用。

## 参考文献

- 程佳孝,罗金海,张文革,李海军,钱军. 2013. 内蒙古额济纳旗珠斯楞海拉尔罕北矿段铅金银铜矿床地质特征及其找矿潜力分析[J]. 西北地质, 46(2): 119-127.
- 胡二红,贺中银,张善明,吕新彪,阮班晓,赵鹏彬,孙浩,纪鹏飞,何世明,苏波,刘婷. 2020. 内蒙古呼伦西白地区铌稀土多金属

- 矿成矿特征及找矿标志[J]. 中国地质, 47(2): 300-314.
- 李会恺,赵强,邢东雪,王凯磊,李敬华,张学萌,刘冬冬. 2016. 内蒙古阿拉善盟西尼乌苏铜金矿地质特征及找矿潜力分析[J]. 地质调查与研究, 39(4): 285-292.
- 李会恺,辛志伟,李敬华,张家兴,刘冬冬,王凯垒,邢东雪,张学萌,李冲. 2017. 内蒙古阿拉善盟西尼乌苏金铜矿地质特征及成因浅析[J]. 西北地质, 50(3): 187-197.
- 李俊建,骆辉,周学武,周红英,孙政平,王守光. 2004. 内蒙古阿拉善呼伦西白金矿的成矿时代[J]. 现代地质, (2): 193-196.
- 李俊建. 2006. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 1-193.
- 李俊建,唐文龙,付超,陈正, Orolmaa Demberel, Oyuntuya Namsraijavyn, Delgersaikhan Adiya, Enkhbat Tserendash, 党智财, 赵泽霖, 张锋, 任军平, 赵丽君. 2016. 中蒙边界地区成矿区带划分[J]. 地质通报, 35(4): 461-487.
- 吕蓉,郝俊峰,王彦鹏,牛颖智. 2004. 内蒙古北山东段珠斯楞铜金矿床的基本特征[J]. 华南地质与矿产, (3): 13-19.
- 王嘉伟,李小强,陈清石,牛广智. 2016. 区域地球化学特征及其主控因素——对内蒙古珠斯楞地区找矿的意义[J]. 地质通报, 35(9): 1544-1549.
- 谢春林,赵寒森,杨涛,王磊. 2018. 内蒙古西部珠斯楞地区水系沉积物地球化学特征及找矿预测[J]. 矿产勘查, 9(11): 2177-2185.
- 许立权,张彤,张明,张玉清,张永清,康小龙,许展,韩宗庆. 2016. 内蒙古自治区重要矿种成矿规律综述[J]. 矿床地质, 35(5): 966-980.
- 杨富林,娄晨,刘雁青,李万忠,徐海山. 2011. 内蒙古自治区额济纳旗呼伦西白金矿成矿地质条件及找矿模式[J]. 西北地质, 44(1): 61-68.
- 杨富林,袁晓鹏,吕杰. 2015a. 额济纳旗珠斯楞海拉尔罕铜多金属矿床地质特征及成矿规律[J]. 西部资源, (4): 61-63.
- 杨富林,袁晓鹏,张雪松. 2015b. 额济纳旗呼伦西白外围铜多金属矿床地质特征及成矿规律[J]. 西部资源, (4): 80-82.
- 杨建军,冯骥,李鹏. 2018. 内蒙古阿拉善地区铁铜金多金属矿成矿规律及找矿前景[J]. 地质与资源, 27(2): 160-165.
- 杨亮,杨富林,汤超. 2006. 内蒙古额济纳旗呼伦西白隐爆角砾岩型金矿地质特征[J]. 地质调查与研究, (2): 100-106.

## Application of integrated technology of geology, geophysics and geochemistry to prospecting at the Xiniwusu Cu-Au deposit, Inner Mongolia

WANG Kailei<sup>1,2</sup>, LIU Dongdong<sup>1,2</sup>, ZHANG Jiaxing<sup>1,2</sup>, LI Huikai<sup>1,2</sup>,  
LI Jinghua<sup>1,2</sup>, LIU Chunping<sup>1,2</sup>

(1. 519 Team North China Geological Exploration Bureau, Baoding 071051, Hebei, China; 2. Hebei JiuHua Geo-exploration and Surveying Co., Ltd., Baoding 071051, Hebei, China)

**Abstract:** Located in Alxa League, Inner Mongolia, Soil geochemical and geophysical methods were employed to investigate the comprehensive anomalies of the Xiniwusu Cu-Au deposit. Low resistivity and high



IP anomalies with the geochemical anomalies of Cu Au of large scales with high intensity in the Xiniwusu Cu-Au deposit, and the deep anomaly tends to increase. The geophysical and geochemical anomalies in the mining area are well combined, and the corresponding surface rock silicification, malachitization and other alterations are strong. Combined with geological, geophysical methods and soil geochemical characteristics of the Xiniwusu Cu-Au deposit, propose a comprehensive prospecting model in the search for new orebodies. The subsequent geological verification shows a good prospecting effect with several Cu-Au ore bodies. This integrated application of geology, geophysics and geochemistry provides an examples for this area.

**Key words:** mineral geological survey; geophysics; geochemistry; prospecting model; Xiniwusu Cu-Au deposit